

Servicios Ecosistémicos de los Parques

Urbanos:

Parques Lácides, Román, Barrio Manga, Cartagena

(IIª Parte, Informe Final)

Por:

Arianna Castro (8º), Paula Hernández (8º), Luna, Vélez Diego (11º), Juliette Barrios (9º),

Juan Miguel Pinto (8º)

Maestros Co-Investigadores:

Restrepo Mesa, Juan Felipe y Velandia, Ricardo Katherine

Aspirando a obtener las insignias: I am a collaborator, I am a STEM professional, I
am a data Scientist

Grupo de Investigación Biontessori (creado en 2017)

Colegio Montessori de Cartagena

Cartagena de Indias - Colombia

2024

1. ABSTRACT

El presente proyecto calcula los servicios ecosistémicos de los Parques Lácides y Román, de Cartagena, respondiendo a la pregunta: *¿De qué manera los bosques urbanos nos ayudan a lograr una Cartagena competitiva y compatible con el clima?* a partir de tres categorías de Servicios Ecosistémicos Ambientales: la biodiversidad, la accesibilidad y la infraestructura, y con base en la Diversidad de la comunidad de aves y de árboles presentes en los parques, de los protocolos de GLOBE de atmósfera y biosfera: Nubes, Temperatura libre del aire, Superficial del Suelo, Cobertura y Biometrías de árboles y arbustos, esta unidad investigativa pudo hacer una primera aproximación a un indicador de sostenibilidad para Bosques Urbanos. Tomando las mediciones hechas por esta Unidad Investigativa para las campañas “Islas de Calor 2020-2021” y “Los Árboles alrededor de Globe LAC 2023”, el uso de la apps Globe Observer de GLOBE, Survey 123 de ESRI e I-Tree eco e I-Tree Canopy del US Forest Service, se logró comprender el rol que juegan los bosques urbanos de los parques, sobre variables como el procesamiento del CO₂, el almacenamiento de Carbono, la escorrentía, y la mitigación de la contaminación ambiental, que hacen a una ciudad más competitiva y compatible con el clima. El proyecto se desarrolló durante doce meses, de marzo del 2023 a marzo del 2024, y continuará, durante el 2024-2025, integrando en el análisis, Bosques de Manglar aledaños a la Isla de Manga, generando datos que permitan afinar el indicador de sostenibilidad. En esta oportunidad el grupo de investigación Biontessori, trabajó con el apoyo y la asistencia técnica de investigadores adscritos al grupo de investigación “Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomasa (IDAB)” de la Universidad de Cartagena. Igualmente, este trabajo se hizo en colaboración con estudiantes de los grados 10 y 11, del Colegio Rochester, Chía, Cundinamarca.

Palabras Clave: Servicios Ecosistémicos, Bosque Urbanos, Indicador de Sostenibilidad, Clima

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se desarrolla en el marco de dos importantes campañas del Programa GLOBE de NASA. De un lado, la campaña “los árboles alrededor de GLOBE” LAC y “los árboles alrededor de GLOBE” Global. Cada una de estas campañas apunta a la pregunta temática de investigación global - TORQ: *¿Por qué hay o por qué no hay árboles en mi ambiente local?*; la campaña se lanza a nivel GLOBAL en el marco del año del clima y el carbón, que será el tema central del simposio virtual de ciencia del año 2024.

A partir de esta pregunta abarcadora, y fiel a su trayectoria en la línea de investigación “adaptación al cambio climático”, esta unidad investigativa se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera los bosques urbanos nos ayudan a lograr una Cartagena competitiva y compatible con el clima?

Entender los servicios ecosistémicos de los Bosques Urbanos Lácides y Román en el Barrio Manga, en la ciudad de Cartagena, nos brinda la oportunidad de poner de relieve un importante programa que lanzó la ciudad en el 2014, denominado “Cartagena Competitiva y compatible con el clima”, demostrando que, a través de una responsable administración del espacio público, se pueden hacer compatible el desarrollo, la competitividad y el alcance de tres de los ODS: #11. Ciudades y comunidades sostenible, #13. Acción por el clima, y #15 Vida en Ecosistemas Terrestres, permitiendo reflexionar en torno al planteamiento de estrategias de manejo socio ambiental, con visión holística y sistémica.

Es de señalar que en 2015, la alcaldía de Cartagena de Indias, lanzó el Plan 4C ***“Cartagena Competitiva y Compatible con el Clima”***, uno de los primeros de esta naturaleza en el mundo. Esta unidad investigativa quiere llamar la atención sobre un tema que debería estar en la agenda de todas las administraciones y ser una prioridad, dada la vulnerabilidad de nuestra ciudad frente los efectos del cambio climático.

En uno de sus apartes el plan 4C señalaba ***“Preparar barrios adaptados al clima del futuro: Impulsar medidas de adaptación que incluyan temas de agua, saneamiento básico, construcción, energía, transporte y conocimiento climático ciudadano, para lograr preparar gente y barrios adaptados ante el clima del futuro.”*** Plan 4C, Cartagena Competitiva y Compatible con el Clima, 2016.

Para comprender el efecto de los bosques urbanos sobre la calidad de vida de las personas, en inmediaciones de los parques Lácides y Román del Barrio Manga, se hace necesario entender primero el efecto que las arboladas de estos parques tienen sobre la eliminación de la contaminación, el almacenamiento de carbono, el secuestro de carbono, la producción de oxígeno, y el escurrimiento evitado.

Cabe reconocer la importancia que tiene responder esta pregunta de investigación, señalando que Colombia es un país megadiverso (Instituto Humbolt, 2021).

Otra característica de la zona de estudio de gran relevancia para esta unidad investigativa es el hecho de que Cartagena está ubicada en una de las más importantes rutas de aves migratorias de América, siendo precisamente, la puerta de entrada de las aves a América del Sur. Solamente en el Norte de Bolívar se han reportado 394 especies (Vides, H. 2017, Tesis), distribuidas en 26 familias y 26 órdenes. Del total de especies, 267 son de hábitos terrestres

(68%) y 127 (32%) son de hábitos acuáticos y/o marinos. 275 especies son residentes (69.5%) y 84 (21.6%) son migratorias boreales, con un 5.1% remanente que no se puede definir con exactitud si son residentes o migratorias (Ibid.), y estos bosques urbanos representan albergue para estas poblaciones.

Resulta imperativo entonces comenzar a reconocer y comprender el papel que tienen los llamados bosques urbanas sobre el clima y los servicios ecosistémicos que estos nos prestan.

Este estudio se lleva a cabo en el Barrio Manga, en la ciudad de Cartagena de Indias, territorio insular y parte integral del sistema que conforma la Bahía de Cartagena y sus cuerpos de agua asociados, cuyas márgenes albergan bosques de Manglar que representan para la ciudad un área total aproximada de 299 ha. (ver mapa, Figura 2). (PNUMA, 2009, p. 77).

4. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA

A siete años del plazo para alcanzar los ODS propuestos por Naciones Unidas, esta unidad investigativa anhela hacer un fuerte llamado de atención GLOBAL, sobre el dramático estado de nuestro planeta en materia de cambio climático (ODS#13_Acciones_Por_El_Clima_UN). Los seres humanos, hemos sido responsables del incremento de la temperatura del planeta, el deterioro de nuestra calidad de vida y la calidad del hábitat (Fuentes Pérez, C. 2015. p. 74). Autores como Martín_Vide, J. 2008, predicen efectos y rigores de magnitudes planetarias, sobre más de la mitad de la población, concentrada en las áreas urbanas, a causa del cambio

climático: en la salud, el modelo energético, el desarrollo económico y las dinámicas socioculturales. (Martín_Vide, J. 2008, p.192)

Goldberg et al., citado por Fuentes_Pérez, C. 2015, advierte sobre las consecuencias del desplazamiento hacia los centros urbanos: rápida urbanización, concentración de población urbana en grandes ciudades, expansión de ciudades en zonas geográficamente más amplias y rápido crecimiento de megalópolis. Goldberg et al., citado por Fuentes_Pérez, C. 2015 y Girardet, 2011, citado por Moreno_Plata, 2011, puntualizan que las ciudades ocupan el 2% de la superficie del planeta, consumen 75% de los recursos abióticos y 50% de los recursos que genera la naturaleza.

De acuerdo con indicadores de Calidad Ambiental del Colectivo “Cartagena cómo vamos”, en el 2022, Cartagena apenas contaba 0,17 árboles por habitante (Cartagena cómo vamos, 2024), cuando la FAO señala que deberían ser entre 2 a 3 árboles por habitante (El País, 20 de mayo de 2018).

De acuerdo con el mismo informe, Cartagena cuenta con un déficit de espacio público de 10,28 m² por habitante. Según la OMS un habitante debería gozar de un espacio público igual o superior a los 15 m² (Ibid.)

El problema que esta unidad investigativa busca comprender es el de los llamados servicios ecosistémicos de los bosques urbanos, medidos a partir de indicadores como son la eliminación de la contaminación, el almacenamiento de carbono, el secuestro de carbono, la producción de oxígeno, y el escurrimiento evitado. Igualmente, esta unidad investigativa busca comprender la relación de causa y efecto que existe entre dichas variables y el cambio climático, así como

con el bienestar y la calidad de vida de las personas. En tal sentido, se espera demostrar que a mayores coberturas arbóreas de árboles adecuadamente escogidos, se obtendrán mayores tasas de eliminación de la contaminación, de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono, de producción de oxígeno, y de escurrimiento evitado, y por ende de una mayor calidad de vida, lo cual permite equilibrar la compatibilidad con los objetivos de desarrollo sostenible #11 Ciudades y comunidades sostenibles, #13 Acción por el clima, y #15 Vida en Ecosistemas Terrestres, con una ciudad competitiva.

De otra parte, los bosques urbanos se constituyen en importantes unidades ecológicas, con servicios ecosistémicos ambientales. Maradiaga-Marín, M y Cariñamos, P, 2021, proponen un modelo según el cual los Servicios Ecosistémicos Ambientales se agrupan en tres categorías generales: Biodiversidad, Accesibilidad e Infraestructura. Cada uno de ellos a su vez compuestos por una serie de indicadores, con sus respectivos criterios de evaluación.

La biodiversidad, de acuerdo con el modelo de Maradiaga-Marín y Cariñamos, se compone de siete indicadores: la riqueza de especies, el índice de diversidad de Shannon, el porcentaje de especies alergénicas, el porcentaje de especies tóxicas o venenosas, el número de especies invasivas, el porcentaje de especies no-nativas, el porcentaje de especies con bajas, medias y altas emisiones de biocompuestos orgánicos volátiles (BCOV), calculados en miligramos del peso seco por hora (Tabla 4 del Anexo 1).

Los criterios de Accesibilidad de acuerdo con el modelo, son ocho y se evalúan como presencia ausencia (Yes/No): la Accesibilidad como tal, Puntos de agua, Área de juegos, Iluminación nocturna, Equipos de acondicionamiento físico, Instalaciones deportivas, Áreas de descanso (bancas, mesas, etc.), y servicio de limpieza/mantenimiento (Tabla 5, Anexo 1).

Finalmente, la tercera categoría es Infraestructura con los indicadores porcentaje del Dosel/aprovisionamiento de Sombrío, Porcentaje de Suelo desnudo, Porcentaje de Elementos azules (cuerpos de agua), Porcentaje de Superficies grises (edificaciones, calles y aceras), y Porcentaje de cobertura de Herbáceas. Para el presente estudio se utilizó la misma rúbrica de evaluación propuesta por Maradiaga-Marin y Cariñano, P. (ver Tabla 6, Anexo 1),

Otra modelo de clasificación, el propuesto por Samson, R, en 2019, también agrupa en tres las categorías, la primer categoría evalúa la regulación del aire, el agua, el suelo y el clima, en una segunda categoría, se determina el ofrecimiento a las comunidades que viven alrededor de estos bosques de la llamada “calidad de hábitat”, y la tercera, mide la provisión de bienes y servicios” (Samson, R. et al, 2019). De acuerdo con este autor, la calidad de hábitat la definen los componentes que están por encima y por debajo del suelo, dónde viven los árboles urbanos (Ibid).

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de Estudio

Cartagena de Indias es una ciudad puerto sobre el mar Caribe (PNUMA, 2009, p.26). Está ubicada al noroccidente de Colombia (ver Mapa, Figura 1, Anexo 1), en el departamento de Bolívar, a 10° 26´ latitud Norte y 75°33´ longitud Oeste y una altitud media sobre el nivel del mar de 2 m. Es una ciudad puerto sobre el mar Caribe (PNUMA, 2009, p.26). El observatorio ambiental de Cartagena reportaba en 2021, que la población de la ciudad era de 1´013.389 habitantes; cuenta la ciudad con un área de 623 Km², de los cuales 76 Km² son de suelo urbano y 547 Km² son de suelo rural. La población localizada en la zona urbana corresponde al 95.6%, mientras que en la zona rural se ubica el 4.4% restante. (Observatorio Ambiental de Cartagena

de Indias, 2021). El paisaje predominante de Cartagena de Indias es el ecosistema marino costero, conformado por el mar Caribe, la Bahía de Cartagena, el Canal del Dique, la Ciénaga de la Virgen, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo y la Bahía de Barbacoas. (IBID).

Según cifras del Centro Oceanográfico e Hidrográfico de la Armada Nacional de Colombia, Cartagena presenta un clima cálido, con una temperatura media anual del aire de 27,8 °C, temperatura máxima anual de 31.2°C, y temperatura mínima anual de 25.1°C. La precipitación total anual multianual es de 1087 mm, siendo octubre el mes más lluvioso con un promedio de 238.8 mm/mes (CIOH, 2021). El hecho climático más notable es la influencia que ejerce el desplazamiento Norte-Sur de la Zona de Convergencia Intertropical -ZCI. Esta zona es una franja discontinua de bajas presiones localizada entre las regiones subtropicales de los hemisferios norte y sur de América, con un clima que se caracteriza como tropical semiárido. Esta condición le impone a la región dos períodos climáticos principales, la época seca (verano) entre los meses de diciembre a abril, con predominio de vientos fuertes del sector norte - noreste y lluvias débiles y escasas. La época húmeda (invierno) con precipitaciones se extiende desde agosto a noviembre y se caracteriza por presentar vientos débiles, de orientación variable y por un régimen de lluvia abundante (CIOH citado por PNUMA, 2009, p.27). El presente estudio se desarrolla a lo largo del año desde marzo del 2023 hasta marzo del 2024.

Por cercanía a la Institución Educativa Colegio Montessori de Cartagena, para el presente estudio se eligieron tres parques urbanos del Barrio de Manga en la Ciudad de Cartagena de Indias (10° 26´ latitud Norte y 75°33´ longitud Oeste y una altitud media sobre el nivel del mar de 2 m.), al norte de Colombia: Parques Lácides (10.415956°, -75.542074°), Román

(10.415249°, -75.542754°), y Peatonal de Manga (10.413701°, -75.543280°), (Figura 3, Anexo 1) y en un trabajo colaborativo, el Colegio Bilingüe Rochester, Chía, Cundinamarca (4.830403°, -74.032141°), con quienes se adelantó un trabajo colaborativo para el desarrollo de la presente investigación.

Según datos del Establecimiento Público Ambiental -EPA, citado por el PNUMA, existen en la ciudad 214 parques, con una extensión total de 451108 m², 0.72% del área urbana de la ciudad. (p. 78). Adicionalmente, el parque Lácides, el Parque Román y la rotonda del Puente Román, desde donde se tomaron los datos para el presente estudio cuentan con un área de 17218.63 m², que representa el 3.8% del total de las áreas destinadas como Parque en la ciudad de Cartagena (calculados a partir de la plataforma Google Earth, usando la herramienta polígona; Google Earth, 2021).

De acuerdo con el protocolo esbozado en los trabajos de Maradiaga-Marin y Cariñano, P. se busca que los parques objeto de análisis contengan bosques urbanos, estén ubicados cerca de barrios residenciales o comerciales, sean accesibles al público y gocen de tener una administración por parte del gobierno local. Los tres parques elegidos cumplen con dichas características.

5.2 Materiales y Métodos

En las áreas de estudio se identificaron los árboles y arbustos, se hicieron mediciones de altura, circunferencia, aplicando los protocolos de GLOBE para Biometría de la altura de los árboles y circunferencias a la altura del pecho de la esfera Biósfera. Los datos se tomaron haciendo uso de la herramienta árboles de la app GLOBE Observer. Adicionalmente, se hicieron registros del estado de salud y de la presencia de nidos de aves, panales de abejas o avisperos, u otros

hechos biológicos de interés. A estas salidas asistieron tanto maestros coinvestigadores como estudiantes, con el apoyo del personal de Servicio Generales.

Para el cálculo de las variables producción de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), eliminación de la contaminación, el almacenamiento de carbono, el secuestro de carbono, la producción de oxígeno, escurrimiento evitado y el % de los diversos tipos de cobertura, se utilizaron los programas iTree Eco y I-Tree Canopy, del Servicio Forestal de los Estados Unidos. Igualmente, la hoja de cálculo para la determinación de Carbón almacenado del programa GLOBE, en aquellos casos en los que la especie coincida con las especies almacenadas en la base de datos de dicha herramienta.

Este proyecto retoma los datos publicados por Luna, D. et al, en “Las Islas de Calor y las Aves Urbanas: Parques Lácides y Román”, presentando en el IVSS 2021. En dicho trabajo se establecieron 10 cuadrantes de 30x30, en los que se midió la Temperatura Superficial, la temperatura Libre del Aire, la altura de los árboles, y se estimó el área del dosel, usando la función polígonos de Google EARTH. Para los conteos de aves se utilizó la metodología de conteo de punto y radio fijo, propuesta por D’Graaf citado por Meles, Glenn y Martin. Los muestreos de temperaturas se hicieron al medio día solar, coincidiendo con el período de observaciones intensas de la campaña “las Islas de Calor”, período 2020-2021.

Los datos obtenidos se tabularon siguiendo la propuesta de Maradiaga-Marin y Cariñano, P. (2021), ver Tabla 3.

en tanto esta unidad investigativa, hacia el 2024-2025, define y ajusta sus propios valores estándar de comparación. Fue de gran importancia contar con la colaboración con el Gimnasio Rochester de Chía, cuyos datos sirvieron como un grupo de control.

Materiales

Los materiales utilizados fueron:

Cinta métrica de 30 m. o cuerda metrada

Cinta métrica de 2 m

Smartphone con la app Globe Observer y la app Handy GPS (o un GPS)

Cámara con lente de aumento 100 - 300

Instrumentos para la captura de datos

La captura de datos en campo se hizo desde la App GLOBE Observer de GLOBE. La descarga de los datos de la base de datos de GLOBE se realizó utilizando la herramienta avanzada para el acceso de datos.

El resumen de los datos las especies arbóreas y de aves de los Parques Lácides, Román y el Peatonal de Manga se relacionan en el anexo 2, Tabla 1 y 2

6. RESULTADOS

Hasta el momento se han muestreado un total de 139 árboles, agrupados en 28 especies, en los Parques Lácides, Román, y Pastelillo, identificados hasta especie (Ver Tablas 1 y 2, Figura 5 del Anexo 1).

De las 28 especies, cerca de un 56% por ciento son especies nativas de Sur América y la mayoría de las especies de árboles exóticos tienen su origen en Norte y Sur América, y en Asia (44 por ciento de las especies).

En cuanto al promedio de las alturas, las cinco especies con los mayores promedios son el Aceituno (*Simarouba amara*) con 12.1 m, el Mamón (*Melicoccus bijugatos*) con 11,2 y *Tabebuia rosea* (Roble Rosado) con 10,7 m. siendo el promedio general 8,26 m. (Ver Tabla 8, y Figura 6).

Con los datos de las especies de cada parque, las alturas, los diámetros a la altura del pecho, y la ubicación geográfica de cada individuo, colectados en campo con la app GLOBE Observer, se calcularon, con la app i-Tree Eco del Servicio Forestas de los Estados Unidos, los indicadores almacenamiento de carbón, procesamiento de Carbono, producción de oxígeno, escurrimiento evitado, eliminación de la contaminación, y compuestos orgánicos volátiles. Cada indicador se tabuló por especie, por parque y total, y se calculó el índice de Pareto, identificando aquellas especies responsables del 80% del total del indicador para los tres parques (Tablas 9 a la 14, Anexo 1).

En la tabla 16 del Anexo 1, se relacionan las calificaciones otorgadas a aquellas especies presentes en al menos uno de los Pareto, es decir, aquellas especies responsables del 80% del total, en al menos un indicador; por cada indicador en la que participa la especie se les otorgó un puntaje equivalente a la fracción de su participación en el total del indicador para el total de los parques; a las especies no nativas con efectos benéficos se les otorgó un puntaje de 0 en la categoría nativas y a las especies no nativas con efectos nocivos, se les otorgó un puntaje negativo de 10. Igualmente, se consultaron los usos del árbol en el reservorio de vida silvestre i-Naturalist. A cada especie se le otorgó un punto por cada uno de sus usos, de once que se identificaron: ornamental, maderable, cerca viva, sombrío, frutal, insecticida, aceites y resinas, abono orgánico y/o alimento para ganado, medicinal, industrial y artesanal. De la misma manera, a cada especie se le otorgó un punto negativo, por cada uno de los riesgos asociados al uso de dicho árbol, clasificados en seis categorías: enfermedades cutáneas, intoxicación, abortiva, alergógena, afecta infraestructura, y producción de COV. En la Tabla 15 del Anexo 1, se pueden ver los puntajes por uso, por riesgo y netos, por especies, así como las clasificaciones de cada Árbol, presentes en los Parques Lácides, Román y Rotonda del Peatonal de Manga, Cartagena de Indias, su familia, su nombre común, el origen (Nativas/No-nativas).

Este análisis arroja que las diez especies más importantes en los tres parques de mayor a menor, son el Roble Rosado (*Tabebuía rosea*), el Zapote (*Manilcara zapota*), el Mangle Botón (*Conocarpus erectus*), el Olivo (*Simarouba amará*), el Chiminango (*Pithecelobium dulce*), el Almendro (*Terminalia catappa*), el Mamón (*Melicococcus bijugatos*), el Mango (*Mangifera indica*), la ceiba Verde (*Pseudobombax septenatum*), y Cocotero (*Cocus nucífera*). Es interesante que tres especies arrojan valores totales negativas: Neem de la India (*Azadirachta indica*), el Laurel (*Ficus bejamina*) y el Caucho (*Ficus benjamina*).

Los usos y sus riesgos, el nombre común, el nombre científico y el origen, de las 25 se relacionan en la Tabla 17, Anexo 1.

Los árboles, sus alturas y sus circunferencias, así como su ubicación geográfica, as se encuentran alojados en el reservorio de información del Programa GLOBE de NASA

Los índices de diversidad de Shannon de los árboles y de las aves, así como los datos de cobertura obtenidos a partir de la herramienta i-Tree Canopy, se relacionan en la tabla 3, Anexo 1, del modelo de Maradiaga-Marin y Cariñano, P,

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los conteos de aves realizados en los Parques Lácides, Román y Rotonda del Peatonal en 2020 y 2021, por esta misma unidad investigativa en el IVSS 2021 (Luna, D et al, 2021) se pudo establecer con base en los índices Chao1 y Ace que se lograron eficiencias en los conteos hasta de un 98%, estimándose la riqueza las aves que visitan estos parques, en un número cercano a las 42 especies.

Sin embargo, mediante la prueba estadística no paramétrica de Krustall Wallis se demostró que no existe una diferencia significativa entre las medias de los índices de diversidad de Margalef y Shannon entre los 10 cuadrantes establecidos por esta misma unidad investigativa en 2021, lo cual quiere decir que las aves se distribuyen de manera aleatoria por toda la extensión de estos parques.

Un análisis de disimilaridad de Bray Curtis para las 10 parcelas del estudio, con base en los árboles presentes en los Parques Lácides y Román, arroja que no hay dos parcelas similares, siendo el índice más bajo 0,70 entre las parcelas 9 y 8, que corresponden al Parque Lácides.

No obstante, un análisis del estudio de las Islas de Calor realizado en 2020 y 2021 por esta misma unidad investigativa, permite establecer mediante la prueba no paramétrica de Krustall Wallis, que, si bien no existe una diferencia estadísticamente significativa para las temperatura libre del aire, si existen diferencias significativas entre las medias de los deltas de las temperaturas libre del aire y superficial del suelo en los diez cuadrantes de 30x30 que se muestrearon, así como entre las medias de las temperaturas superficiales del suelo. Hecho que solo se puede explicar desde la composición florística de cada uno de estos cuadrantes.

A partir de una fotografía de 1949 (Figura 3 del Anexo 1), se aprecia cuanto ha cambiado la estructura de los Bosques Urbanos, en este sector del Barrio de Manga. Ello explica, la irregularidad entre los cuadrantes, debido a la mano del hombre en la siembra de especies, con un alto número de especies no-nativas, alterando la composición natural de estos relictos de Bosque Seco Tropical. Igualmente, la proliferación de la Infraestructura Gris, responsable del efecto de Isla de Calor que se demuestra a partir de las diferencias estadísticamente significativas entre los cuadrantes y entre las imágenes con los mapas de calor que se presentaron en el informe de Luna, V et al en el IVSS 2021.

Se destacan las altas diversidades de aves, de todos los grupos funcionales, presentes en estos Bosques Urbanos, que se ven atraídas por los árboles frutales como el Guazimo, el Matarratón, el Totumo, y el Chiminango, y por el néctar y las flores del Roble Rosado, y por las intrincadas ramas del Mangle Botón. Este es un importante elemento de sostenibilidad y de competitividad para la ciudad de Cartagena, en la medida que estos parques se constituyen en atractivos turísticos donde se propicia el aviturismo.

El modelo propuesto por Maradiaga-Marin y Cariñano, que sirvió de base para el análisis de la sostenibilidad y el alistamiento para retos futuros, funciona muy bien, sin embargo, como alcance de este trabajo para el 2024, está afinar cada uno de los indicadores. Grosso modo decir, que los tres espacios están en un relativo buen estado y preparados para retos futuros, lo cual coadyuva a que el Barrio de Manga ofrezca a sus habitantes una alta calidad de vida. No obstante, se reconocen algunas debilidades y amenazas, como por ejemplo la abundancia del Neem de la India, especie tóxica con un importante nivel en la Rotonda del Peatonal de Manga, donde transitan niños y mujeres en estado de embarazo. Contrasta este hecho con lo observado en el Colegio Rochster de Bogotá en un sector periurbano de la ciudad de Bogotá (Municipio

de Chía) donde todas las especies observadas son nativas y ninguna de ellas es alergénica ni tóxica. De otro lado, si bien los parques ofrecen en su conjunto instalaciones deportivas, de descanso, juegos para niños y máquinas de adecuación física, esta se encuentra en un regular estado, siendo necesaria una inmediata intervención de las autoridades distritales y departamentales, toda vez que el parque Lácides es jurisdicción del departamento de Bolívar, a diferencia de los otros dos espacios que son jurisdicción del Distrito de Cartagena. Estas divisiones administrativas en opinión de esta Unidad Investigativa, lo que hacen es restarle competitividad a la ciudad.

Resulta fundamental el análisis de la cobertura terrestre, siempre y cuando esté acompañado de un análisis de indicadores por especie; se pudo apreciar las diferencias en los rendimientos de cada una de las variedades de árboles, para lo cual el Índice de Pareto fue de una gran ayuda. La gran especie presente en estos parques, según cada uno de los indicadores es el Roble Rosado, *Tabebuia rosea*. Estos análisis sirven para que los tomadores de decisiones tengan los elementos de juicio al momento de decidir que especies sembrar.

Para el caso de este informe el análisis de los Compuestos Orgánicos Volátiles COV, se hizo a partir de los datos que genera i-Tree ECO, y se usó, para el indicador el porcentaje de árboles que son responsables del 80% de la producción de estas emanaciones.

Destacar que entre las especies observadas en los parques de Manga y el Rochster en Bogotá se encontraron tres especies clasificadas en estado Vulnerable a nivel mundial, por parte de la IUCN: la Palma de Manila (*Adonidia merilli*), el Ebano (*Caesalpinia ebano*) y el Pino Romero (*Retrophyllum rospigliosii*).

8. CONCLUSIONES

Se pudo dar respuesta a la pregunta de investigación, al demostrar con indicadores de sostenibilidad agrupados en tres categorías: Biodiversidad, Accesibilidad e Infraestructura, que estos Bosques Urbanos, son resilientes y están preparados para enfrentar retos futuros, de conformidad con el modelo de Maradiaga-Marin y Cariñamos. Lo cual está alineado con el estándar del plan 4c: “Preparar barrios adaptados al clima del futuro: Impulsar medidas de adaptación que incluyan temas de agua, saneamiento básico, construcción, energía, transporte y conocimiento climático ciudadano, para lograr preparar gente y barrios adaptados ante el clima del futuro.

Con los datos de especie, altura, circunferencia y ubicación geográfica, capturados en campo con la app GLOBE Observer, y analizados con las apps i-Tree Eco y i-Tree Canopy, resulta posible calcular los indicadores de sostenibilidad del modelo de Samson, R. y colaboradores.

En el ejemplo, Ocho especies de 25, es decir el 35% de las especies de los Parques Lácides, Román, Rotonda del Peatonal, son responsables del 80% del secuestro de Carbono por año (637 kilos/año).

Análisis como estos, llevan a esta unidad investigativa a concluir que los Parques Lácides, Román y Rotonda del Peatonal, si ayudan a regular el aire, el agua y el suelo (indicador No. 1) de Samson, al aprovisionamiento del suelo (Indicador No. 2) y el tercer indicador, aprovisionamiento de otros bienes como energía y nutrientes,

Cómo alcance futuro, esta unidad investigativa continuará trabajando en el refinamiento del cálculo de estos dos modelos de indicadores.

Dos experiencias muy valiosas han enriquecido este proyecto, de un lado viajar a la ciudad de Panamá y haber tenido el honor de representar a nuestro país y conocer personas que transformaron nuestras vidas: y de otro lado, tener la posibilidad de trabajar colaborativamente con estudiantes del Colegio Rochester de Bogotá, y tener acceso a sus datos, un colegio en un medio periurbano, a 2600 metros sobre el nivel del mar, con un 100% de especies nativas”.

Finalmente, hacer un reconocimiento al programa GLOBE de NASA, y las herramientas de software y de protocolos que nos brinda, así como por la oportunidad que nos da de contribuir con nuestras observaciones a la solución de los grandes problemas que aquejan a nuestro planeta. Al Dr Tony Murphy, GIO director, y a los científicos que nos han acompañado en este proceso desde que nos hicimos parte de la Campaña Los árboles alrededor de GLOBE en 2021. Un especial agradecimiento por su liderazgo y apoyo a Mariana Savino RC de LAC, y las entrenadoras Andrea Ventoso, y Ana Prieto, igualmente a Brian Campbell TAG Campaign Lead, Peder Nelson, TAG Campaign Co-Lead, Dorian Janney, Dr. Christopher Shuman and Peter Falcon, , agradecer a nuestros maestros co-investigadores Juan Felipe Restrepo y Kathy Velandia.

9. REFERENCIAS

Alcaldía de Cartagena de Indias et al. 2014. Plan 4C. Cartagena Competitiva y Compatible con el Clima.

Acuña, C. et al. (2018). Guía para los grupos de investigación Expedición ONDAS BIO. Colciencias (hoy Ministerio de la Ciencia). Cataplum Libros. ISBN (IMPRESO) 9789588290744 e ISBN (DIGITAL) 9789588290751. Editora Géminis SAS. Bogotá. 152p.

Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta. (2021). Instituto Humboldt. Bogotá. Recuperado de <http://humboldt.org.co/es/>

Bonnet-Lebrun, A., Andrea Manica and Ana S.L. Rodrigues. 2020. Effects of urbanization on bird migration. Biological Conservation. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108423>. 8 p.

Cardenas Triana, G. & Muñoz Carrasco, Y. 2014. Influencia del crecimiento urbano medido como crecimiento poblacional sobre el desarrollo del fenómeno de isla de calor en la ciudad de Santiago de Cali. Tesis Pregrado. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá.

Cartagena como vamos. 2022. Informe de Calidad de Vida 2022. Recuperado en <https://cartagenacomovamos.org/como-vamos-en/> el 1 de marzo de 2024

Centro Oceanográfico e Hidrográfico de la Armada Nacional de Colombia -CIOH. 2021. recuperado de <https://www.cioh.org.co/>

Díaz Granados, P & Vergara Serpa, B. (Editoras). 2009. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: Geo Cartagena. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ,

Alcaldía de Cartagena de Indias, Establecimiento Público Ambiental de Cartagena - EPA, Observatorio del Caribe Colombiano. ISBN 978-958-98917-0-4. Cartagena de Indias. 174 p.

Toharía, M (2018). ¿Cuántos árboles por habitante hacen falta en las ciudades? Diario el País.

Recuperado en

https://elpais.com/elpais/2018/05/07/seres_urbanos/1525688899_487227.html el 1 de marzo de 2024

Edgar Bernat-Ponce, José Antonio Gil-Delgado & Daniel Guijarro (2018): Factors affecting the abundance of House Sparrows *Passer domesticus* in urban areas of southeast of Spain, *Bird Study*, DOI: 10.1080/00063657.2018.1518403

Especies observadas en el mundo. (2021). Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell. Ithaca, New York. Recuperado de <https://ebird.org/region/world>

Fuentes Pérez, C. 2015. Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del Balance de Energía Natural. *Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León*, ISSN 2007-1639, Vol. 9, N°. 11 (Septiembre 2015 - Febrero 2016), págs. 73-91

Google Earth. (2021). Google. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

Luna, V. et al (2021) Las Islas de calor y las aves urbanas: Parques Lácides y Román, Barrio Manga, Cartagena. IVSS 2021.

Martín-Vide, J. (2008) El Cambio climático y las islas de calor urbanas. Cambios de escala y riesgos climáticos. En Rivera-Vargas, P. Sánchez E. Morales-Olivares, R, Sáez-Rosemkrantz, I., Yévenes, C. y Butendieck, S. (Coords). Conocimiento para la Equidad Social: Pensando en Chile Globalmente. (pp.189-205). Santiago de Chile: Colección Políticas Públicas -USACH.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA. (2009). Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Cartagena. Editora Géminis Ltda. ISBN 9789589891704. Cartagena. 172 p.

Maradiaga-Marín, M.F.; Cariñanos, P. An Indicator-Based Approach to Assess the Readiness of Urban Forests for Future Challenges: Case Study of a Mediterranean Compact City. *Forests* 2021, 12, 1320. <https://doi.org/10.3390/f12101320>

Moreno Plata, M. 2011. Las Funciones energéticas rurales para sustentar las zonas urbanas. *Espacios Públicos*, vol. 14, núm. 32. sep-dic, 2011. pp 223-247. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

My NASA data. (2021). Recuperado de <https://mynasadata.larc.nasa.gov/>

Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias (2021). Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/>

Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://www.who.int/es>, el 1 de marzo de 2024.

The jamovi project (2020). jamovi. (Version 1.2) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

Toharía, M. (2018). ¿Cuántos árboles por habitante hacen falta en las ciudades?. El País. Madrid. 2018.

Vargas-Gomez, O. & Molina-Prieto, L. 2014. Arborizaciones urbanas: estrategia para mitigar el calentamiento global. Revista Nodo. No. 16. Vol. 8 Año 8. pp. 100-108

Vides, H. 2017. Riqueza y distribución de aves de interés para la conservación en el norte de Bolívar, Colombia. Tesis para optar al título de Biólogo. Universidad de Cartagena.

Roeland, S. (2019). Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided for urban forests. J. For. Res. (2019) 30(6):1981–1996

<https://doi.org/10.1007/s11676-019-00916-x>

US Forest Service. 2023. iTree ECO. Recuperado de <https://www.itreetools.org/> el 11 de septiembre de 2023

ANEXO 1

Tablas y Figuras



Figura 1

Cartagena de Indias, Norte de Colombia. Recuperado Google Earth Pro, el 11 de septiembre del 2023.



Figura 2

Isla de Manga, Cartagena. Recuperado de Google EARTH Pro, el 11 de septiembre de 2023

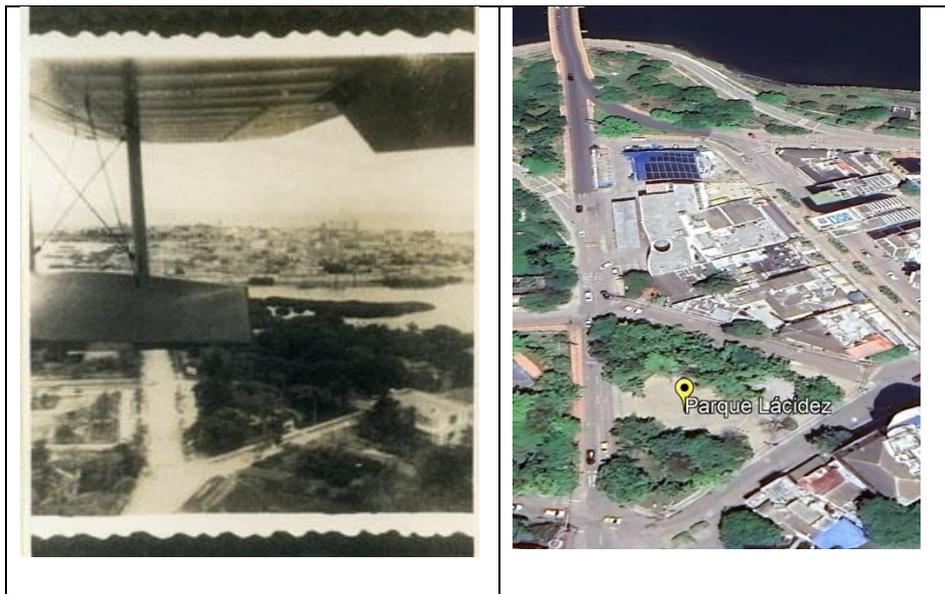


Figura 3

Izquierda. Panorámica desde Manga hacia Getsemaní. 1949. Autor: Edrington, John. Fuente: Fototeca Histórica, Biblioteca Universidad Tecnológica de Bolívar. Derecha- Panorámica desde Manga hacia Getsemaní, 2023. Google Earth.

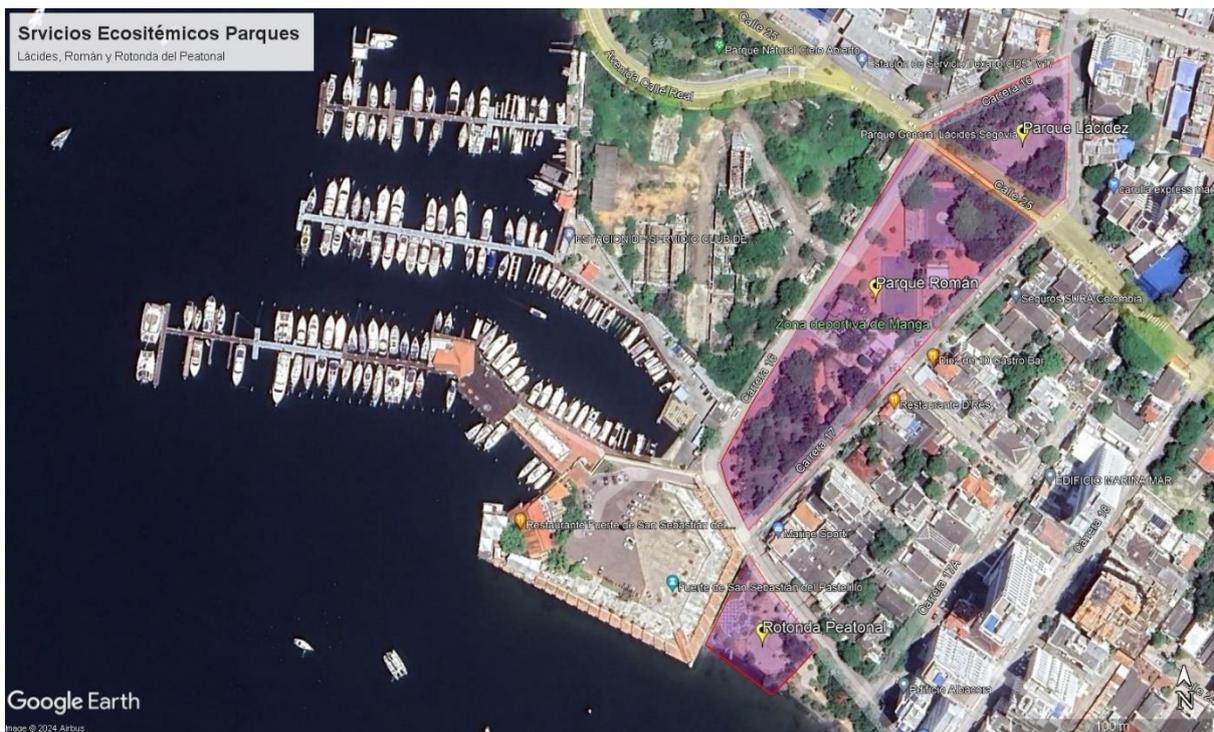


Figura 4

En morado, Parques Lácides, Román y Rotonda del Peatonal de Manga. Fuente: Google Earth

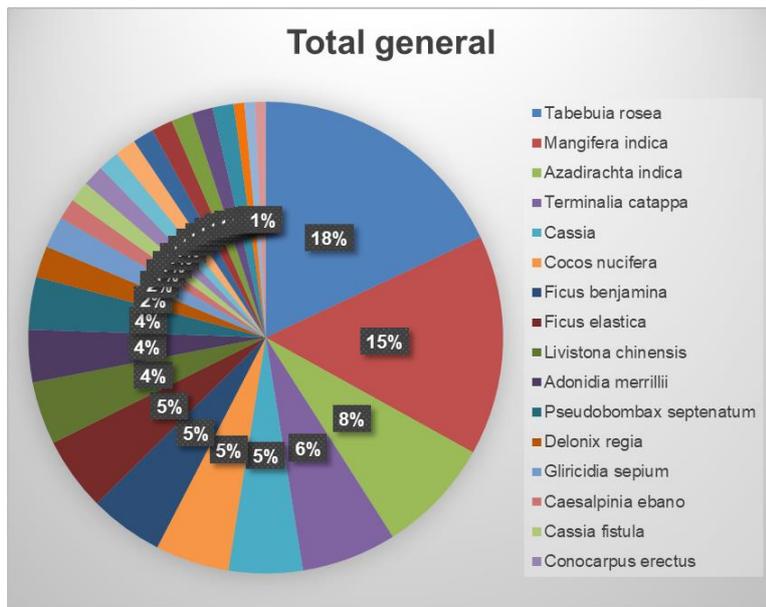


Figura 5

Composición en porcentaje de la comunidad de árboles en los Bosques Urbanos de los Parques Lácides, Román y la Rotonda del Peatonal, Barrio Manga Cartagena, Período 2023-2024.

Fuente: Biontessori, 2024

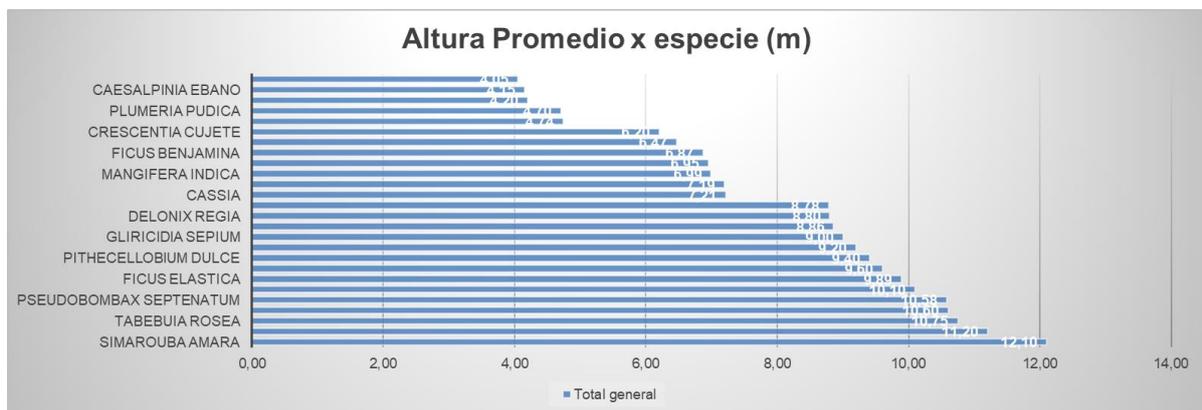


Figura 6

Alturas promedio en metros, por especies, para los tres parques: Lácides, Román y Rotonda del Peatonal, Cartagena, Co. Fuente: Biontessori, 2024

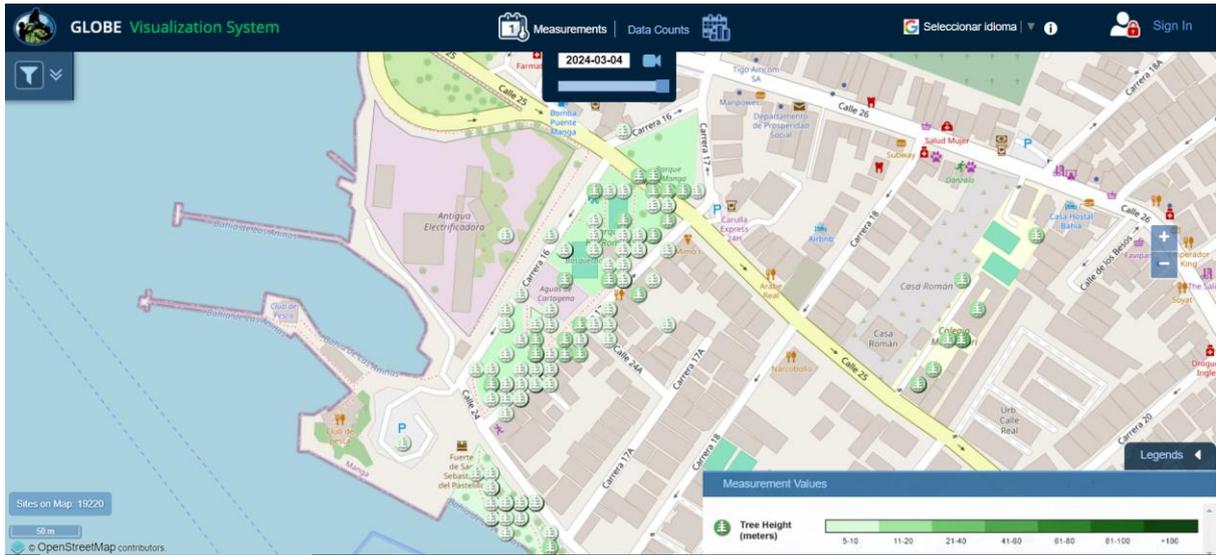


Figura 8

Sistema de Visualización del Programa GLOBE de NASA, mostrando los árboles registrados en los Parques Lácides , Román y Rotonda del Peatonal, registrados durante el período 2023-2024. Fuente: Programa GLOBE de la NASA, 2024

Tabla1

Abundancia (N) y Riqueza (S) de especies arbóreas en los parques Lácidez, Román y Peatonal del Pastelillo, en el Barrio Manga, Cartagena de Indias Co. 2023-2024

Espece	Lácidez	Pastelillo	Román
Adonidia merrillii	5		
Albizia saman			1
Azadirachta indica		6	5
Bulnesia arborea		1	
Caesalpinia ebano		2	
Cassia fistula	7	2	
Cecropia peltata		1	
Ceiba pentandra	1		
Chamaedorea elegans	1		
Cocos nucifera	3	3	1
Conocarpus erectus	1	1	
Crescentia cujete			2
Delonix regia			3
Ficus benjamina			7
Ficus elastica	4		3
Gliricidia sepium		1	2
Guazuma ulmifolia			2
Livistona chinensis	6		
Mangifera indica	1		20
Manilkara zapota		1	1
Melicoccus bijugatus	1		
Pithecellobium dulce	1	1	
Plumeria pudica		2	
Prosopis juliflora			2
Pseudobombax septenatum			5
Simarouba amara	2		
Tabebuia rosea	9		16
Terminalia catappa	3	2	7
Total Individuos (N)	45	23	77
Total Especies (S)	14	30	30
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	4,2	4,9	4,5
Índice de Diversidad de Shannon (DSH)	3,4	3,3	3,3

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 2

Abundancia (N) y Riqueza (S) de especies de aves en los parques Lácidéz, Román y Rotonda del Peatonal, en el Barrio Manga, Cartagena de Indias Co. 2021-2022

Etiquetas de fila	Lácidéz	Pastelillo	Román
Amazilia tzacatl	16	1	6
Amazona ochrocephala	4		1
Ara ararauma		1	
Ara severus		1	
Ardea alba	2		
Brotogeris jugularis	75	6	17
Campylorhynchus griseus	4		
Caracara plancus	1		1
Cathartes aura	43	1	42
Charadrius semipalmatus		1	
Coereba flaveola	19		14
Columba livia	99	46	24
Columbina passerina		2	
Coragyps atratus	117	20	113
Daptrius chimachima		14	4
Egretta thula	4	5	2
Elaenia flavogaster	16	132	5
Eupsittula pertinax	312		90
Fregata magnificens	33	5	16
Leucophaeus atricilla		33	
Megaceryle torquata		1	
Melanerpes rubricapillus	26		15
Myiozetetes similis	10	1	16
Nannopterum brasilianum		1	
Patagioenas cayennensis	2		1
Pelecanus occidentalis	16	11	4
Phaetusa simplex		1	
Phimosus infuscatus	1		
Piranga rubra			9
Pitangus sulphuratus	20	1	15
Progne tapera	3		
Quiscalus mexicanus	69	38	21
Rupornis magnirostris	1		
Saltator olivascens	6	1	3
Setophaga castanea		1	4
Sicalis flaveola	4	2	10
Tachycineta albiventer	2	5	
Thraupis episcopus	5	2	6
Thraupis palmarum	2		2
Todirostrum cinereum		2	9
Turdus grayi			1
Tyrannus dominicensis	6	1	5
Tyrannus melancholicus	91	7	43
Zenaida auriculata	258	16	104
Total Individuos (N)	1267	359	603
Total Especies (S)	31	30	30
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	4,20	4,93	4,53
Índice de Diversidad de Shannon (DSh)	3,52	3,28	3,83

Fuente: Biontessori, 2024

Tabla 3

Indicadores de sostenibilidad y alistamiento para retos futuros, de los Bosques Urbanos de los parques Lácidos, Román y Rotonda del Pastelillo, en la ciudad de Cartagena, Bolívar y de los Bosques Periurbanos de Colegio Rochester, en Chía, Cundinamarca; los datos de los 20 indicadores se agruparon en tres categorías, siguiendo la propuesta de Maradiaga-Marín y Cariñano, P.

INDICADOR	No.	LAC	ROM	PAST	ROCH
BIODIVERSIDAD					
Riqueza (S) de Especies (Aves)	1	32	31	30	NA
Índice de Shannon (DSh) (Aves)	2	3,55	3,85	3,30	NA
Riqueza (S) de Especies (Árboles)	1a	14,00	15,00	12,00	14,00
Índice de Shannon (DSh) (Árboles)	2a	3,37	3,27	3,29	2,67
Especies Alergénicas (%)	3	7	1,3	7	0
Especies Tóxicas/venenosas (%)	4	0	6,5	29	0
No. Especies Invasivas	5	1	1	1	0
Especies No-Nativas (%)	6	54	47	40	0
Emisión de COVs (*) (%)	7	29	20	30	15
ACCESIBILIDAD (!!)					
Accesibilidad	8	Yes	Yes	Yes	Yes
Puntos de Agua	9	Yes	Yes	Yes	Yes
Zonas de Juegos	10	No	No	Yes	Yes
Iluminación Nocturna	11	Yes	Yes	yes	Yes
Equipos de adecuación física	12	No	No	Yes	Yes
Instalaciones deportivas	13	No	Yes	No	Yes
Zonas de descansos	14	Yes	Yes	Yes	Yes
Limpieza	15	Yes	Yes	Yes	Yes
INFRAESTRUCTURA					
Cobertura de Árboles (%)	16	70	45,00	30	10
Suelo impermeable (%)	17	0	10	15	5
Elementos Azules (%)	18	0	0	5,00	0
Superficies de Herbáceas y Gramíneas (19	0	5,00	0	55
Infraestructura Gris (%) (**)	20	30	40	50	30

(*) % de Spp responsables del 80% de las emisiones de Compuestos Orgánico Volátiles (COV).

(!!) Presencia/Ausencia, Yes/no

(**) Todo tipo de construcciones civiles

Fuente: Biontessori y Gimnasio Rochester 2024

Tabla 4

Criterios de evaluación para los indicadores de la categoría Biodiversidad; modelo propuesto por Maradiaga-Marín y Cariñanos.

	Riqueza de Especies	Índice de Shannon	Especies Alergénicas	Especies Tóxicas/venenosas	Especies Invasivas	Especies No-nativas	Emisión de BVOC
Superior	>10	>3	<20	<10	<1	<10	<20
Medio	2-10	2-3	20-30	10-15	1-2	10-50	20-30
Bajo	<2	<2	>30	>15	>2	>50	>30

Fuente: Maradiaga-Marín y Cariñanos, 2021

Tabla 5

Criterios de evaluación para los indicadores de la categoría Accesibilidad; modelos propuesto por Maradiaga-Marín y Cariñamos.

	Yes	No
Accesibilidad		
Puntos de Agua		
Áreas de juegos para niños		
Iluminación nocturna		
Equipos de acondicionamiento físico		
Instalaciones deportivas		
Areas de descanso		
Limpieza		

Fuente: Maradiaga-Marín y Cariñamos, 2021

Tabla 6

Criterios de evaluación para los indicadores de la categoría Infraestructura, modelo propuesto por Maradiaga-Marín y Cariñamos

	Suelo				Infraestructura
	Dosel/Aprvisionamiento de Sombra (%)	descubierto (%)	Elementos Azules (%)	Superficie de herbáceas (%)	Gris (%)
Superior	>60	<20	>10	<5	<10
Medio	60-60	20-40	1-10	5-10	10-15
Bajo	<40	>40	<1	>10	>15

Fuente: Maradiaga-Marín y Cariñamos, 2021

Tabla 7

Clasificación de Especies de Árboles, Parques Lázidez, Román y Rotonda del Peatonal de Manga, Cartagena de Indias, en cuanto origen (Nativas/No-nativas) y en cuanto a su uso

% de No-Nativas 44%

No	Especies	Familia	Nombre Común	Alertas Conservación	No de individuos	Nativa/No-nativa	Puntaje Total Usos	Puntaje Total Riesgos	Total Neto
1	Tabebuia rosea	Bignoniaceae	Roble Rosado		25	Nativa	3	0	3
2	Mangifera indica	Anacardiaceae	Mango		21	No-nativa	2	-1	3
3	Azadirachta indica	Meliaceae	Neem de la India		11	No-nativa	3	-2	5
4	Terminalia catappa	Combretaceae	Almendro Malabar		11	No-nativa	4	0	4
5	Cassia fistula	Fabaceae	Caña Fístula		9	No-nativa	0	0	0
6	Cocos nucifera	Arecaceae	Cocotero		7	No-nativa	2	0	2
7	Ficus benjamina	Moraceae	Laurel de la India		7	No-nativa	0	-1	1
8	Ficus elastica	Moraceae	Caucho		7	No-nativa	1	0	1
9	Livistona chinensis	Aracaceae	Palma de Abanico		6	No-nativa	1	0	1
10	Adonia merrillii	Arecaceae	Palma de Manila	VU Global	5	No-nativa	2	0	2
11	Pseudobombax septenatum	Malvaceae	Ceiba verde		5	Nativa	2	0	2
12	Delonix regia	Fabaceae	Framboyán		3	No-nativa	5	-1	6
13	Gilicidia sepium	Fabaceae	Matarratón		3	Nativa	4	0	4
14	Caesalpinia ebanum	Fabaceae	Ébano	VU Global	2	Nativa	1	0	1
15	Conocarpus erectus	Combretaceae	Mangle Botón		2	Nativa	2	0	2
16	Crescentia cujete	Bignoniaceae	Totumo		2	Nativa	5	0	5
17	Guazuma ulmifolia	Malvaceae	Guazimo		2	Nativa	1	1	0
18	Manilkara zapota	Sapotaceae	Zapote		2	Nativa	2	0	2
19	Pithecellobium dulce	Fabaceae	Chiminango		2	Nativa	1	0	1
20	Plumeria pudica	Apocynaceae			2	Nativa	1	0	1
21	Prosopis juliflora	Fabaceae	Trupillo		2	Nativa	4	0	4
22	Simarouba amara	Simarubaceae	Acetuno		2	Nativa	1	0	1
23	Albizia saman	Fabaceae	Campano		1	Nativa	7	0	7
24	Ceiba pentandra	Malvaceae	Ceiba		1	Nativa	4	0	4
25	Melicoccus bijugatus	Sapindaceae	Mamón		1	No-nativa	4	0	4

Fuente: Inaturalist, 2024.

Tabla 8

Alturas promedio (m) x especie, por parque y total.

Especie	Lácidez	Román	Rotonda	Total general
Simarouba amara	12,10			12,10
Melicoccus bijugatus	11,20			11,20
Tabebuia rosea	11,28	10,45		10,75
Ceiba pentandra	10,60			10,60
Pseudobombax septenatum		10,58		10,58
Manilkara zapota		6,90	13,30	10,10
Ficus elastica	7,35	13,27		9,89
Albizia saman		9,60		9,60
Pithecellobium dulce	4,60		14,20	9,40
Guazuma ulmifolia		9,20		9,20
Gliricidia sepium		9,85	7,30	9,00
Cocos nucifera	9,17	15,90	6,20	8,86
Delonix regia		8,80		8,80
Terminalia catappa		9,89	4,90	8,78
Cassia	7,21			7,21
Azadirachta indica		8,70	5,93	7,19
Mangifera indica	5,20	7,08		6,99
Conocarpus erectus	8,70		5,20	6,95
Ficus benjamina		6,87		6,87
Livistona chinensis	6,47			6,47
Crescentia cujete		6,20		6,20
Adonidia merrillii	4,74			4,74
Plumeria pudica			4,70	4,70
Cassia fistula			4,20	4,20
Caesalpinia ebano			4,15	4,15
Prosopis juliflora		4,05		4,05

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 9

Almacenamiento de Carbono (Kg) por especie , por parque y total. Porcentale por especie e Indice de Pareto.

Especie	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Ficus elastica	8046,1	9964,8		18010,9	33%	33%
Ficus benjamina		5126,7		5126,7	10%	43%
Manilkara zapota		32,7	4577,7	4610,4	9%	51%
Mangifera indica	6	4220,1		4226,1	8%	59%
Simarouba amara	4134			4134	8%	67%
Tabebuia rosea	1182,6	2336,5		3519,1	7%	73%
Conocarpus erectus	2158,2		164,1	2322,3	4%	78%
Azadirachta indica		1863,3	338,8	2202,1	4%	82%
Cassia fistula	1772,4		40,5	1812,9	3%	85%
Livistona chinensis	1385,9			1385,9	3%	88%
Terminalia catappa	488,9	602,8	36,9	1128,6	2%	90%
Pithecellobium dulce	9,9		997,7	1007,6	2%	92%
Ceiba pentandra	819,5			819,5	2%	93%
Pseudobombax septenatum		647,5		647,5	1%	94%
Cocos nucifera	198,5	307,5	92,2	598,2	1%	96%
Terminalia	488,8			488,8	1%	96%
Albizia saman		326		326	1%	97%
Delonix regia		293		293	1%	98%
Gliricidia sepium		179,1	104,2	283,3	1%	98%
Melicoccus bijugatus	270,1			270,1	1%	99%
Guazuma ulmifolia		221,6		221,6	0%	99%
Crescentia cujete		160,8		160,8	0%	99%
Caesalpinia ebanó			133,9	133,9	0%	100%
Adonidia merrillii	119,4			119,4	0%	100%
Prosopis juliflora		52,9		52,9	0%	100%
Plumeria pudica			34,5	34,5	0%	100%
Total general	21080,3	26335,3	6520,5	53936,1		

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 10

Captura de carbono (kg/año) por especie , por parque y total. Porcentale por especie e Indice de Pareto.

Especie	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Tabebuia rosea	53,9	100,5		154,4	19%	19%
Mangifera indica	1,1	131		132,1	16%	35%
Simarouba amara	83,7			83,7	10%	45%
Livistona chinensis	58,8			58,8	7%	52%
Azadirachta indica		31,4	23,9	55,3	7%	59%
Terminalia catappa	17,4	45,2	4,5	49,7	6%	65%
Ficus benjamina		40,7		40,7	5%	70%
Pithecellobium dulce	1,9		29,9	31,8	4%	74%
Cocos nucifera	12,3	10,9	7,5	30,7	4%	78%
Pseudobombax septenatum		24,6		24,6	3%	81%
Gliricidia sepium		13,5	6,8	20,3	2%	83%
Ficus elastica	16,2	3,7		19,9	2%	86%
Delonix regia		18,9		18,9	2%	88%
Ceiba pentandra	14,3			14,3	2%	90%
Guazuma ulmifolia		14,3		14,3	2%	92%
Adonidia merrillii	13,3			13,3	2%	93%
Melicoccus bijugatus	12,2			12,2	1%	95%
Caesalpinia ebanó			9,1	9,1	1%	96%
Albizia saman		6,8		6,8	1%	97%
Crescentia cujete		5,7		5,7	1%	97%
Cassia fistula	44,7		5,6	5,6	1%	98%
Conocarpus erectus	0,8		4,4	5,2	1%	99%
Prosopis juliflora		4,7		4,7	1%	99%
Manilkara zapota		2,2	0,9	3,1	0%	100%
Plumeria pudica			2,6	2,6	0%	100%
Total	330,6	454,1	95,2	817,8		

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 11

Oxígeno Producido (Kg/año) por especie , por parque y total. Porcentale por especie e Índice de Pareto.

Especies	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Tabebuia rosea	143,7	267,5		411,2	19%	19%
Mangifera indica	2,8	349,6		352,4	16%	35%
Simarouba amara	223,2			223,2	10%	45%
Livistona chinensis	156,7			156,7	7%	52%
Azadirachta indica		84,1	63,7	147,8	7%	59%
Terminalia catappa	46,4	120,2	12,1	132,3	6%	65%
Ficus benamina		108,4		108,4	5%	70%
Pithecellobium dulce	5,2		79,7	84,9	4%	74%
Cocos nucifera	32,9	29,2	19,7	81,8	4%	78%
Pseudobombax septenatum		65,9		65,9	3%	81%
Gliricidia sepium		36	18	54	2%	83%
Ficus elastica	43,1	9,8		52,9	2%	86%
Delonix regia		50,3		50,3	2%	88%
Guazuma ulmifolia		38,2		38,2	2%	90%
Ceiba pentandra	38			38	2%	92%
Adonidia merrillii	35,5			35,5	2%	93%
Melicoccus bijugatus	32,6			32,6	1%	95%
Caesalpinia ebano			24,4	24,4	1%	96%
Albizia saman		18,3		18,3	1%	97%
Crescentia cujete		15,4		15,4	1%	97%
Cassia fistula	119,4		14,8	14,8	1%	98%
Conocarpus erectus	2,2		11,7	13,9	1%	99%
Prosopis juliflora		12,6		12,6	1%	99%
Manilkara zapota		6	2,4	8,4	0%	100%
Plumeria pudica			6,8	6,8	0%	100%
Total	881,7	1211,5	253,3	2180,7		

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 12

Escurrimiento evitado (m³/año) por especie , por parque y total. Porcentale por especie e Índice de Pareto.

Especies	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Mangifera indica	0	11,2		11,2	18,57%	18,57%
Ficus benamina		9,1		9,1	15,09%	33,67%
Tabebuia rosea	0,1	7		7,1	11,77%	45,44%
Ficus elastica	0,3	6,7		7	11,61%	57,05%
Azadirachta indica		4	1,6	5,6	9,29%	66,33%
Pseudobombax septenatum		5,4		5,4	8,96%	75,29%
Manilkara zapota		0,2	4,3	4,5	7,46%	82,75%
Terminalia catappa	0,1	2,1	0,1	2,2	3,65%	86,40%
Pithecellobium dulce	0		1,9	1,9	3,15%	89,55%
Gliricidia sepium		0,8	0,5	1,3	2,16%	91,71%
Guazuma ulmifolia		1,1		1,1	1,82%	93,53%
Albizia saman		0,9		0,9	1,49%	95,02%
Delonix regia		0,8		0,8	1,33%	96,35%
Crescentia cujete		0,5		0,5	0,83%	97,18%
Caesalpinia ebano	0,1		0,4	0,4	0,66%	97,84%
Conocarpus erectus	0,1		0,2	0,3	0,50%	98,34%
Cocos nucifera	0	0,2	0	0,2	0,33%	98,67%
Plumeria pudica			0,2	0,2	0,33%	99,00%
Simarouba amara	0,2			0,2	0,33%	99,34%
Cassia fistula			0,1	0,1	0,17%	99,50%
Ceiba pentandra	0,1			0,1	0,17%	99,67%
Melicoccus bijugatus	0,1			0,1	0,17%	99,83%
Prosopis juliflora		0,1		0,1	0,17%	100,00%
Total	1,1	50,1	9,3	60,3		

Fuente: Biontessori, 2024

Tabla 13

Eliminación de la contaminación (g/año) por parque y total. Porcentale por especie e Índice de Pareto.

Especies	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Ficus elastica	5338,8	4924,3		10263,1	17,1%	17,1%
Mangifera indica	37	8175,5		8212,5	13,7%	30,9%
Tabebuia rosea	2851,1	5214		8065,1	13,5%	44,3%
Ficus benjamina		6719,2		6719,2	11,2%	55,5%
Azadirachta indica		2832,4	1231,3	4063,7	6,8%	62,3%
Pseudobombax septenatum		3969,7		3969,7	6,6%	69,0%
Manilkara zapota		114,8	3206,9	3321,7	5,5%	74,5%
Simarouba amara	3068,3			3068,3	5,1%	79,6%
Ceiba pentandra	1799,2			1799,2	3,0%	82,6%
Terminalia catappa	1244,2	1597,6	101,3	1698,9	2,8%	85,5%
Pithecellobium dulce	35		1374,5	1409,5	2,4%	87,8%
Conocarpus erectus	1088,6		178,9	1267,5	2,1%	89,9%
Gliricidia sepium		545,6	354,7	900,3	1,5%	91,4%
Livistona chinensis	860,6			860,6	1,4%	92,9%
Guazuma ulmifolia		781,7		781,7	1,3%	94,2%
Albizia saman		686,1		686,1	1,1%	95,3%
Melicococcus bijugatus	674,5			674,5	1,1%	96,5%
Delonix regia		588,3		588,3	1,0%	97,4%
Crescentia cujete		394,4		394,4	0,7%	98,1%
Cocos nucifera	141,5	157,7	84,3	383,5	0,6%	98,7%
Caesalpinia eban			297,7	297,7	0,5%	99,2%
Adonidia merrillii	139,8			139,8	0,2%	99,5%
Plumeria pudica			124	124	0,2%	99,7%
Cassia fistula	2324,9		99,9	99,9	0,2%	99,8%
Prosopis juliflora		92		92	0,2%	100,0%
Total	19603,5	36793,3	7053,5	59881,2		

Fuente: Biontessori, 2024

Tabla 14

Producción de Compuestos Orgánicos Volátiles COV (g/año) por parque y total. Porcentale por especie e Índice de Pareto.

Especies	Lácidez	Román	Rotonda	Total general	%	Pareto
Ficus elastica	3799,2	3414,2		7213,4	25,27%	25%
Mangifera indica	28,5	6490,9		6519,4	22,84%	48%
Ficus benjamina		4658,7		4658,7	16,32%	64%
Livistona chinensis	2342,9			2342,9	8,21%	73%
Melicococcus bijugatus	2147,5			2147,5	7,52%	80%
Conocarpus erectus	1360,2		209,9	1570,1	5,50%	86%
Albizia saman		1013,3		1013,3	3,55%	89%
Cocos nucifera	385,1	407,4	215,7	1008,2	3,53%	93%
Pithecellobium dulce	18		685,6	703,6	2,46%	95%
Terminalia catappa	515,6	641,8	40,8	682,6	2,39%	98%
Gliricidia sepium		273,8	176,9	450,7	1,58%	99%
Azadirachta indica		93,2	37,7	130,9	0,46%	100%
Caesalpinia eban			28,6	28,6	0,10%	100%
Delonix regia		25,1		25,1	0,09%	100%
Cassia fistula	474,5		19,3	19,3	0,07%	100%
Crescentia cujete		11,9		11,9	0,04%	100%
Plumeria pudica			11,4	11,4	0,04%	100%
Adonidia merrillii	8,6			8,6	0,03%	100%
Ceiba pentandra	0			0	0,00%	100%
Guazuma ulmifolia		0		0	0,00%	100%
Manilkara zapota		0	0	0	0,00%	100%
Prosopis juliflora		0		0	0,00%	100%
Pseudobombax septenatum		0		0	0,00%	100%
Simarouba amara	0			0	0,00%	100%
Tabebuia rosea	0	0		0	0,00%	100%
Total	11080,1	17030,3	1425,9	28546,2		

Tabla 15

Clasificación de Especies de Árboles, Parques Lácidez, Román y Rotonda del Peatonal de Manga, Cartagena de Indias, por familia, por nombre común, origen (Nativas/No-nativas) su calificación de uso, de riesgo y neta.

% de No-Nativas

44%

Especies	Familia	Nombre Común	Alertas Conservación	No de individuos	Nativa/No-nativa	Puntaje		Total Neto
						Total Usos	Riesgos	
Tabebuia rosea	Bignoniaceae	Roble Rosado		25	Nativa	3	0	3
Mangifera indica	Anacardiaceae	Mango		21	No-nativa	2	-1	3
Azadirachta indica	Meliaceae	Neem de la India		11	No-nativa	3	-2	5
Terminalia catappa	Combretaceae	Almendo Malabar		11	No-nativa	4	0	4
Cassia fistula	Fabaceae	Caña Fistula		9	No-nativa	0	0	0
Cocos nucifera	Arecaceae	Cocotero		7	No-nativa	2	-2	4
Ficus benjamina	Moraceae	Laurel de la India		7	No-nativa	0	-1	1
Ficus elastica	Moraceae	Caucho		7	No-nativa	1	0	1
Livistona chinensis	Aracaceae	Palma de Abanico		6	No-nativa	1	0	1
Adonidia merrillii	Arecaceae	Palma de Manila	VU Global	5	No-nativa	2	0	2
Pseudobombax septenatum	Malvaceae	Ceiba verde		5	Nativa	2	0	2
Delonix regia	Fabaceae	Framboyán		3	No-nativa	5	-1	6
Gliricidia sepium	Fabaceae	Matarrotón		3	Nativa	4	0	4
Caesalpinia ebano	Fabaceae	Ébano	VU Global	2	Nativa	1	0	1
Conocarpus erectus	Combretaceae	Mangle Botón		2	Nativa	2	0	2
Crescentia cujete	Bignoniaceae	Totumo		2	Nativa	5	0	5
Guazuma ulmifolia	Malvaceae	Guazimo		2	Nativa	1	-1	2
Manilkara zapota	Sapotaceae	Zapote		2	Nativa	2	0	2
Pithecellobium dulce	Fabaceae	Chiminango		2	Nativa	1	0	1
Plumeria pudica	Apocynaceae			2	Nativa	1	0	1
Prosopis juliflora	Fabaceae	Trupillo		2	Nativa	4	0	4
Simarouba amara	Simarubaceae	Aceituno		2	Nativa	1	0	1
Albizia samara	Fabaceae	Campano		1	Nativa	7	0	7
Ceiba pentandra	Malvaceae	Ceiba		1	Nativa	4	0	4
Melicoccus bijugatus	Sapindaceae	Mamón		1	No-nativa	4	0	4

Fuente: Inaturalist, 2024.

Tabla 16

Tabla de Puntajes para determinar la importancia de cada especie en el conjunto de los tres parques Lácidez, Román, Rotonda Peatonal, en Manga, Cartagena.

Especie	Nativa	Carbono almacenado	Carbono Capturado	Oxígeno Producido	Esguerrimiento evitado	Contaminación eliminada	COV		TOTAL
							producidos	Usos/Riesgos	
Tabebuia rosea	10	0,07	0,19	0,19	0,12	0,13	0,10	3	13,80
Manilkara zapota	10	0,09			0,07	0,06	0,10	2	12,32
Conocarpus erectus	10	0,04						2	12,04
Simarouba amara	10	0,08	0,10	0,10		0,05	0,10	1	11,43
Pithecellobium dulce	10		0,04	0,04				1	11,08
Terminalia Catappa	0		0,06	0,06				4	4,12
Melicoccus bijugatus	0						-0,08	4	3,92
Mangifera indica	0	0,08	0,16	0,16	0,19	0,14	-0,23	3	3,50
Pseudobombax septenatum					0,09	0,07		2	2,16
Cocus Nucifera	0		0,04	0,04				2	2,08
Livistona chinensis	0		0,07	0,07			-0,08	1	1,06
Azadirachta indica	-10		0,07	0,07	0,09	0,07		5	-4,70
Ficus elastica	-10	0,33			0,12	0,17	-0,25	1	-8,63
Ficus benjamina	-10	0,10	0,05	0,05	0,15	0,11	-0,16	1	-8,71

Fuente: Bionteessori, 2024

Tabla 17

Clasificación de Especies de Árboles, Parques Lácidez, Román y Rotonda del Peatonal de Manga, Cartagena de Indias, por nombre común, origen (Nativas/No-nativas) su calificación de uso, de riesgo y neta.

% de No-Nativas

Especies	Nombre Común	No de individuos	Nativa/No-nativa	Ornamental	Maderable	Sombrio	Frutal	Insecticida	Aceites y Resinas	Abono orgánico y/o Alimento	Ganado	Medicinal	Industrial	Artesanal	Puntaje Total Usos	Enfermedades Cutáneas	Intoxicación	Abortivo	Alergias	Afecta Infraestruct COV	Puntaje Total Riesgos	Total Neto	
Albizia saman	Campano	1	Nativa	1	1	1				1	1	1	1	1	7						0	7	
Delonix regia	Framboyán	3	No-nativa	1		1				1	1	1	1	1	5						-1	-1	6
Azadirachta indica	Neem de la India	11	No-nativa				1	1	1	1					3		-1	-1				-2	5
Terminalia catappa	Almendra Malabaz	11	No-nativa	1	1		1					1			4							0	4
Cocos nucifera	Cocotero	7	No-nativa				1					1			2		-1		-1			-2	4
Crescentia cujete	Totumo	2	Nativa	1			1					1		1	4							0	4
Ceiba pentandra	Ceiba	1	Nativa	1	1				1					1	4							0	4
Melicoccus bijugatus	Mamón	1	No-nativa		1		1	1				1			4							0	4
Mangifera indica	Mango	21	No-nativa		1		1								2	-1						-1	3
Gliricidia sepium	Matarratón	3	Nativa	1						1		1			3							0	3
Prosopis juliflora	Trupillo	2	Nativa		1				1			1			3							0	3
Tabebuia rosea	Roble Rosado	25	Nativa	1	1										2							0	2
Adonidia merrillii	Palma de Manila	5	No-nativa	1					1						2							0	2
Guazuma ulmifolia	Guazimo	2	Nativa									1			1		-1					-1	2
Manilkara zapota	Zapote	2	Nativa				1						1		2							0	2
Ficus benjamina	Laurel de la India	7	No-nativa												0						-1	-1	1
Ficus elastica	Caucho	7	No-nativa	1											1							0	1
Livistona chinensis	Palma de Abanic	6	No-nativa	1											1							0	1
Pseudobombax septenatum	Ceiba verde	5	Nativa										1		1							0	1
Caesalpinia ebanum	Ebano	2	Nativa		1										1							0	1
Conocarpus erectus	Mangle Botón	2	Nativa	1											1							0	1
Pithecellobium dulce	Chiminango	2	Nativa									1			1							0	1
Plumeria pudica		2	Nativa	1											1							0	1
Simarouba amara	Aceituno	2	Nativa									1			1							0	1
Cassia fistula	Caña Fístula	9	No-nativa												0							0	0

Tabla 18

Índice de disimilaridad de Bray Curtis entre cuadrantes, en función de las especies de árboles observados

	CTG0003	CTG0004	CTG0005	CTG0006	CTG0007	CTG0008
CTG0004	0,9000000					
CTG0005	0,9000000	0,8571429				
CTG0006	0,8888889	1,0000000	0,8333333			
CTG0007	0,9411765	0,7500000	0,9285714	1,0000000		
CTG0008	0,8235294	0,7857143	0,9375000	0,9333333	0,8571429	
CTG0009	0,8571429	0,9166667	0,9166667	1,0000000	0,9473684	0,7058824

Los mayores valores entre cuadrantes indican las más altas diferencias, 1 es totalmente diferente, 0 es completamente similares

Fuente: Biontesori 2024

Tabla 19

Evaluación con Prueba No-Parámetrica de Kustall Walisde de la similitud de las medias de las temperaturas medidas en los 10 cuadrantes por esta misma unidad investigativa en las campañas Las Islas de Calor en Dic 2020 y Ene 2021, presentadas por Luna, V. et al en 2021.

Prueba	p	Ho	Ha
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	0,581	Se acepta	Se rechaza
Índice de Diversidad de Shannon (DSh)	0,686	Se acepta	Se rechaza
Temperatura Libre del Aure - TLA (°C)	0,276	Se acepta	Se rechaza
Temperatura superficial - TS(°C)	0,160	Se acepta	Se rechaza
Delta de Temperatura (TS-TLA) (°C)	0,020	Se rechaza	Se acepta

Reglas: Ho: Las medias son significativamente similares, Ha: Las medias son significativamente diferentes. Con $p < 0,05$ se rechaza Ho, con $p \geq 0,05$ se acepta Ho.